

SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LA CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA LOCAL EN EL VALLE DE MÉXICO

Alejandro ZITÁCUARO CONTRERAS y Ernesto CAETANO NETO
Grupo de Meteorología Tropical del Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM

RESUMEN

Los campos de viento simulando numéricamente con el modelo de mesoescala MM5 para el Valle de México, son comparados con los observados durante el experimento CAM-MIT. Los resultados muestran que los campos de viento simulados próximos a la superficie, utilizando un sistema de asimilación de datos en superficie, dan mayor precisión y resolución que pueden para el diagnostico y propuesta de soluciones de calidad del aire, así como para utilizarse como condiciones iniciales y de frontera en modelos de dispersión de contaminantes.

Palabras clave: México, simulación numérica, vientos de superficie, circulación local.

ABSTRACT

The numerical simulation of the wind fields with the mesoscale model MM5 for the Valley of Mexico, are compared with the observed data collected during experiment CAM-MIT. The results show that the simulated wind fields, near the surface, using a surface data assimilation data system, give greater precision and resolution which can be applied for diagnoses and air quality assessments, as well as to be used as initial and boundary conditions in models of pollutant dispersion.

Key words: *México, numerical simulation, surface winds, local circulation.*

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los métodos más sofisticados para realizar estudios de circulaciones atmosféricas, es la realización de experimentos numéricos utilizando modelos atmosféricos, que tienen como propósito primordial entender mejor los procesos físicos, químicos, dinámicos y radiativos de la meteorología y la contaminación del aire (BURK *et al.*, 1989).

Una sub-herramienta que mejora la calidad de los estudios realizados con modelos atmosféricos es la implementación de un sistema de asimilación de datos dentro de los modelos, aunque ésta requiere de una mejor calidad de datos observados para una representación dinámica más ajustada a la realidad (KILCOYNE, 1997).

2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO MM5

El modelo de mesoescala de quinta generación, mejor conocido como MM5, fue desarrollado en la Universidad Estatal de Pennsylvania por Anthes a principios de la década de los setenta, documentado por ANTHERS *et al.* (1978) y posteriormente enriquecido en el National Center for Atmospheric Research (NCAR). En México, el MM5 ha sido utilizado para realizar pronósticos a

corto plazo, y obtener el diagnóstico para determinar soluciones accesibles en problemas ambientales y de cambio climático regionalizado (MAGAÑA *et al.*, 1998).

El modelo MM5-V3 es un modelo no hidrostático que emplea la ecuación de continuidad de masa compresible. Resuelve las ecuaciones en términos de flujos y en coordenadas verticales sigma para sistemas atmosféricos de mesoescala. Para resolver las ecuaciones utiliza diferencias finitas adelantadas, usando el método semi-implícito en tiempo sobre una malla Arakawa tipo B (HALTINER *et al.*, 1980).

La dinámica del modelo permite el uso del MM5-V3 a resoluciones muy altas (escala de nubes), por lo que se puede utilizar para los estudios que implican sistemas convectivos de mesoescala, frentes, brisas de tierra y mar, circulaciones de montaña y valle, y las islas urbanas del calor (DUDHIA *et al.*, 1999). El modelo incluye variadas parametrizaciones de procesos físicos. Horizontalmente, todas las ecuaciones son escritas en mapas en proyecciones Lambert conformales, estereográfico polares o proyección Mercator; lo que permite al modelo aplicarse en cualquier parte del mundo. En la figura 1 se muestra un esquema con el orden de los módulos, el flujo de los datos y la descripción de las funciones primarias que forman parte del modelo.

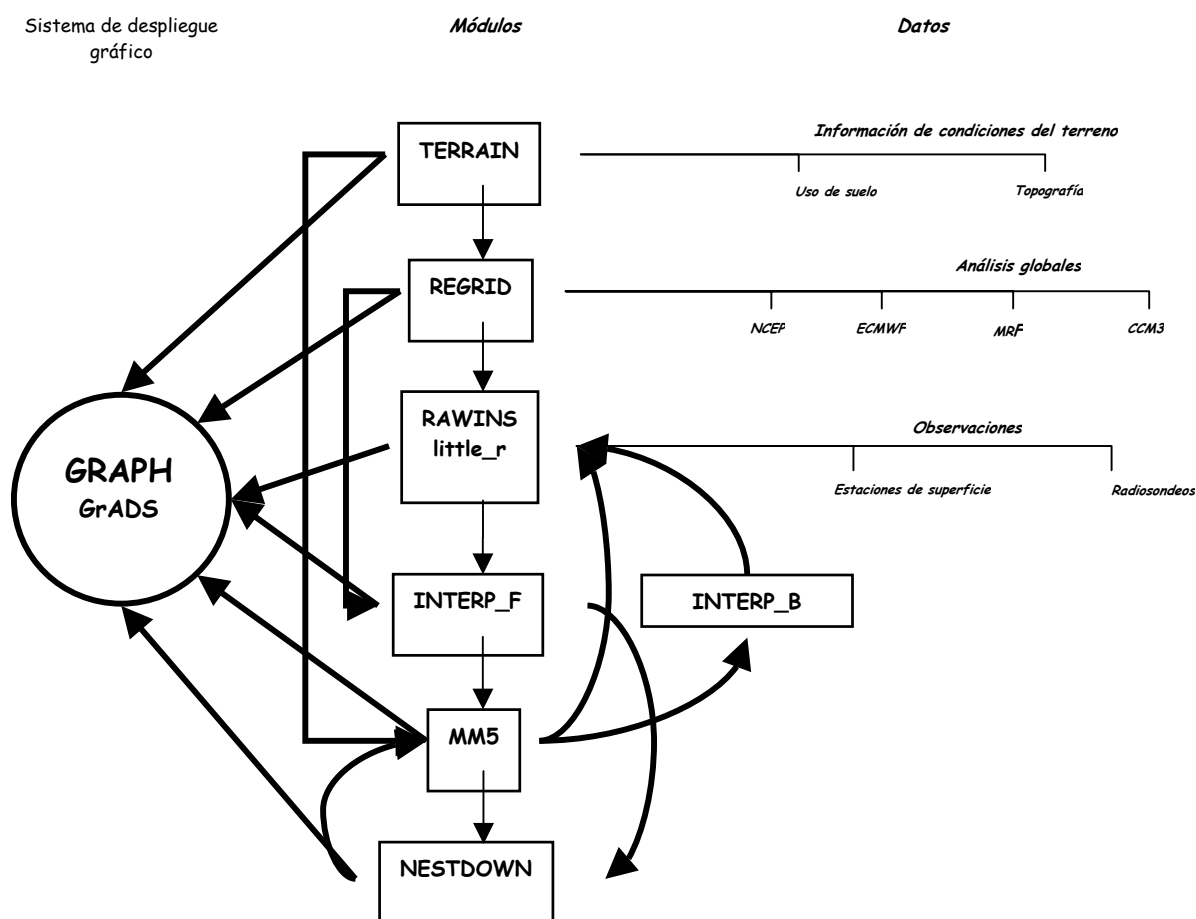


Fig. 1. Diagrama de flujo del MM5v3 (NCAR-MM5v3)

3. DATOS Y METODOLOGÍA

Las fuentes que proporcionaron los datos para la realización de este trabajo son la RAMA (Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México), las EMA's (Estaciones Meteorológicas Automáticas del Servicio Meteorológico Nacional), datos de reanálisis del National Weather Center de los Estados Unidos (NCEP), y los registrados durante el experimento CAM-MIT (Fig. 2). Las variables que se utilizaron de cada una de las estaciones de superficie fueron temperatura, humedad relativa, así como magnitud y dirección del viento, en una resolución temporal horaria. Una vez obtenidos los datos, se manipularon mediante un programa en Fortran, para modificar la estructura de los mismos, de tal forma que pudieran introducirse en el MM5 y paquetes gráficos.

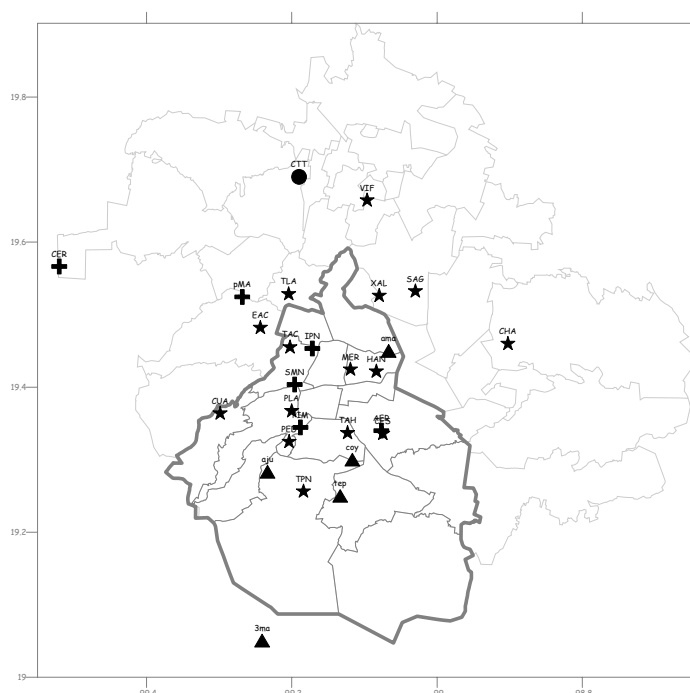


Fig. 2. Posición de las estaciones dentro del Valle de México

3.1. Simulaciones numéricas con el modelo MM5

El modelo de mesoescala MM5 se corrió a 24 horas para cada día de febrero del 2002, utilizando datos de reanálisis como condiciones iniciales y de frontera. Cada corrida se realizó en dos dominios, el madre con una resolución espacial de 24 km, así como un dominio anidado con una resolución espacial de 8 km, la cual comprende todo el territorio del Valle de México. Se obtuvieron salidas horarias, es decir los parámetros calculados por el modelo fueron guardados por cada hora de pronóstico.

Los esquemas de parametrizaciones de los procesos físicos seleccionados para todas las simulaciones dentro del modelo, fueron: el esquema para nubes cúmulos propuesto por KAIN (2002), el esquema de radiación atmosférica de interacción con nubes (BENJAMÍN, 1983), el esquema de capa límite planetaria desarrollado por BURK *et al.* (1989), el esquema de

precipitación explícita de hielo simple (DUDHIA, 1989), así como el esquema de suelo propuesto por CHEN *et al.* (2001).

3.2. Asimilación de datos

La asimilación de datos es un género más elaborado que el análisis objetivo, ya que mejora el campo inicial estimado al combinar los datos observados y las salidas de modelos de circulación general que limitan la predicción del modelo debido a su gruesa resolución espacial.

Para este análisis, se asimilaron todos los datos observados recolectados utilizando como base las corridas del MM5 hechas con los datos de reanálisis de febrero del 2002. Cada asimilación se realizó volviendo a correr el modelo a 24 horas con las mallas procesadas donde se hace uso del método de correcciones sucesivas de CRESMAN, y que realiza el ajuste de las primeras salidas del modelo hechas con los datos de reanálisis y los datos observados.

4. DIAGNÓSTICOS Y RESULTADOS

4.1 Simulaciones del MM5

Para mostrar las simulaciones hechas por el modelo, se presentan aquí las medias horarias para representar los flujos medios de viento en la horizontal, con mapas de superficie, y en la vertical, con un corte latitudinal y otro longitudinal sobre el Valle de México.

Los flujos medios del viento para febrero del 2002 mostrados por el MM5 reproducen un vórtice ciclónico hacia el este de la estación Hangares, aunque sólo para el horario de 00 horas (Fig. 3). El hecho de que el modelo cuente con parámetros de relieve topográfico se refleja en una buena representación de los efectos causados por la topografía, lo cual es indispensable tomar en cuenta si lo que se requiere es determinar los patrones que modulen las circulaciones locales de la cuenca de México.

En los horarios de 06, 12 y 18 horas, el modelo muestra un dominio de vientos del norte, los mismos que al encontrarse con las barreras montañosas tienden a formar corrientes de viento sobre el Valle de Chalco.

Las simulaciones del MM5 muestran que los *Nortes* ocurridos durante febrero del 2002 modulan en mayor medida los campos de viento a escala local, ya que los campos medios de las simulaciones muestran una persistencia de vientos del norte en horarios de 12 y 18 horas.

Sin embargo, en la vertical los efectos de las montañas son más evidentes, una muestra de ello es que para el horario de 00 horas (Fig. 4a), el flujo medio tiene una componente ascendente sobre el centro del valle, el cual forma áreas de convergencia en superficie, dichas áreas forzosamente mantienen un flujo de viento hacia el interior del valle donde se encuentran las áreas de convergencia. El horario donde se ve un mayor ascenso de los vientos es el de 18 horas (Fig. 4d), en este gráfico se puede ver la formación de una isla de calor sobre la parte oriental del valle, donde además coincide con una mayor fuerza ascendente, tal efecto nos indica un forzamiento del viento generado por la isla de calor formada en esta región del interior del valle.

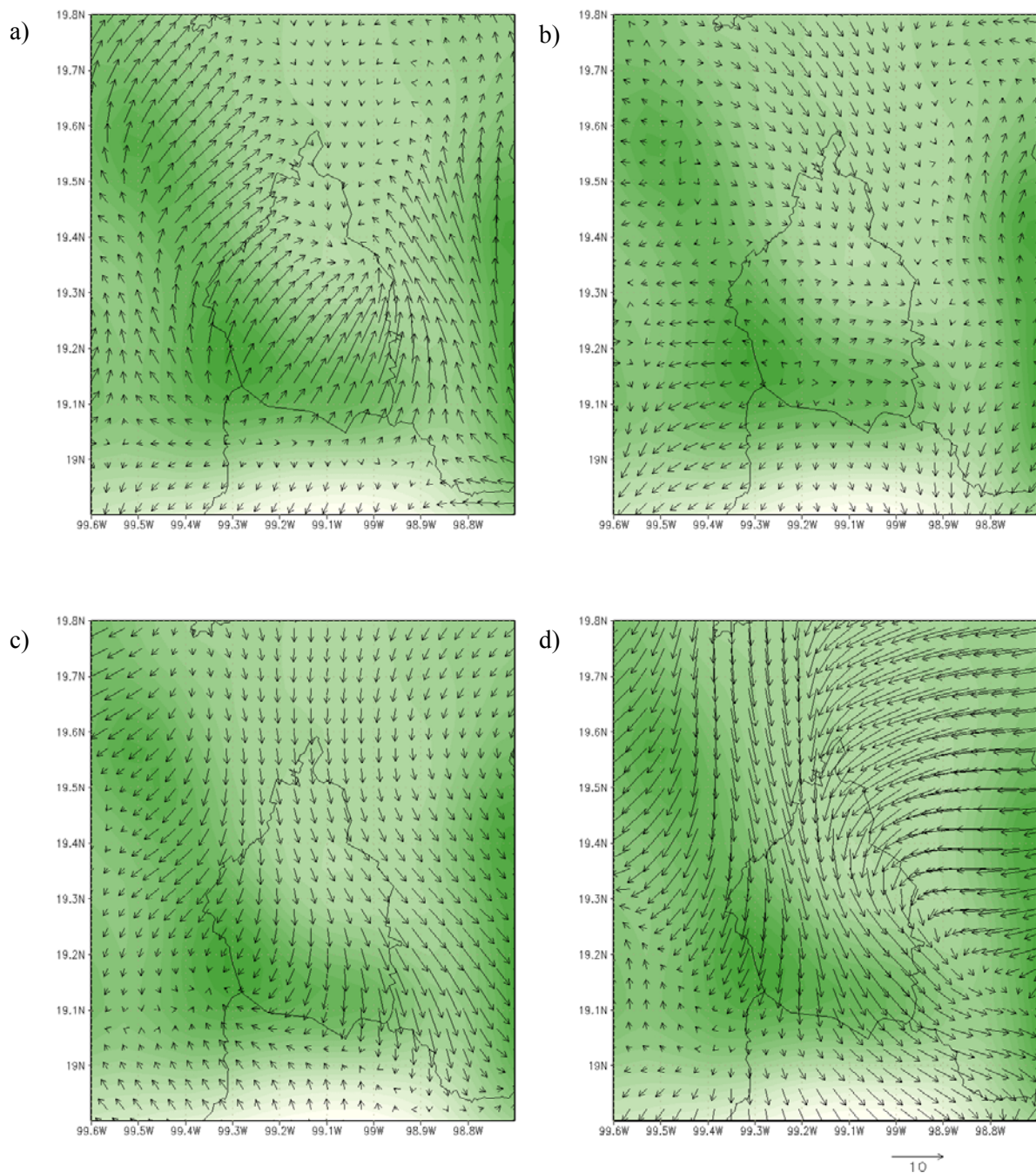


Fig. 3. Medias horarias de viento en superficie (m/s) para las simulaciones del MM5 para febrero:
a) 00 horas; b) 06 horas; c) 12 horas, y d) 18 horas

Las medias horarias en la vertical de las simulaciones del MM5 (Fig. 5), representadas en cortes meridionales, muestran también los efectos de la topografía, siendo más visible para las montañas del sur del valle donde el horario de 00 horas (Fig. 5a), presenta características de una circulación de brisa de montaña, mientras que para el horario de 18 horas el efecto es opuesto (Fig. 5d).

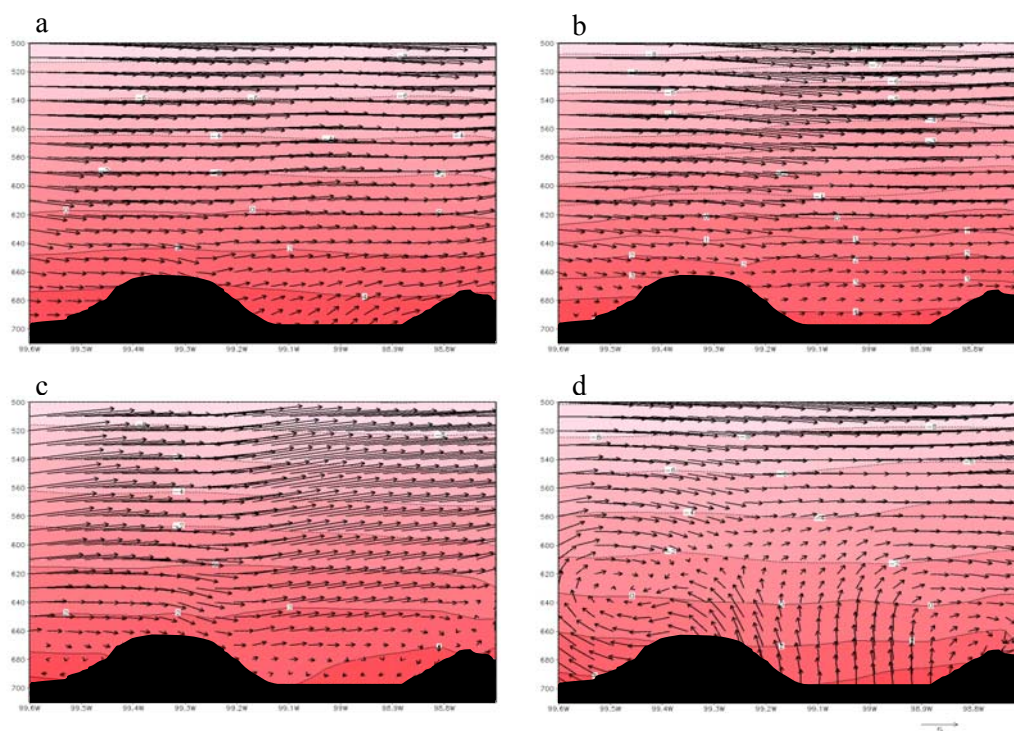


Fig. 4. Corte latitudinal de las medias horarias de viento (m/s) simuladas por el MM5 para febrero:
a) 00 horas, b) 06 horas, c) 12 horas, y d) 18 horas

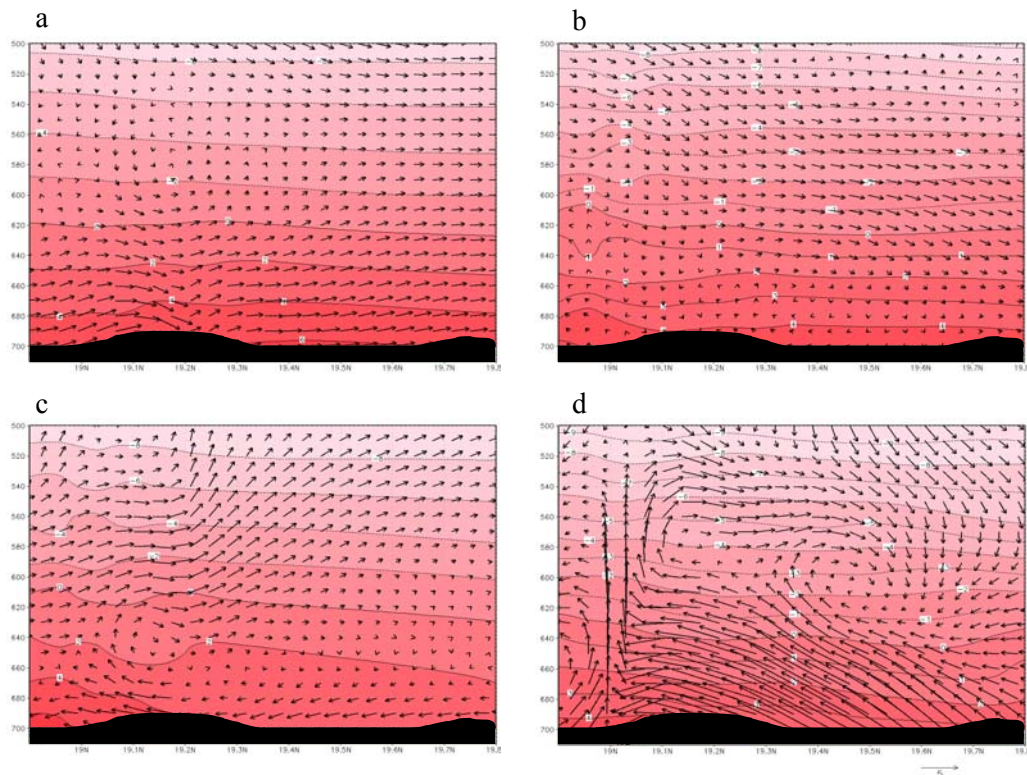


Fig. 5. Corte meridional de las medias horarias de viento (m/s) simuladas por el MM5 para febrero:
a) 00 horas, b) 06 horas, c) 12 horas, y d) 18 horas

A pesar de que las simulaciones del MM5 mantengan un dominio de viento del norte en los campos de viento medios, se puede ver claramente que logran una muy buena representación de las interacciones de los sistemas orográficos con los campos de viento. Y es por tal motivo que se utilizó como campo inicial en la asimilación de datos.

4.2. Representación de la circulación local con datos asimilados

En la figura 6 se muestra una comparación de tres campos de viento obtenidos para un mismo horario (18 horas del 22 de febrero del 2002) donde ocurrió otro evento de *Norte*. En este caso la simulación de MM5 muestra el pronóstico a 24 horas del modelo (Fig. 6b), y por lo tanto la asimilación de datos da referencia al pronóstico y los datos observados (Fig. 6c). Se puede ver que los campos asimilados reflejan muy bien los datos observados (Fig. 6a). Estos campos a su vez muestran una mejor representación de las características impuestas por las montañas alrededor del valle.

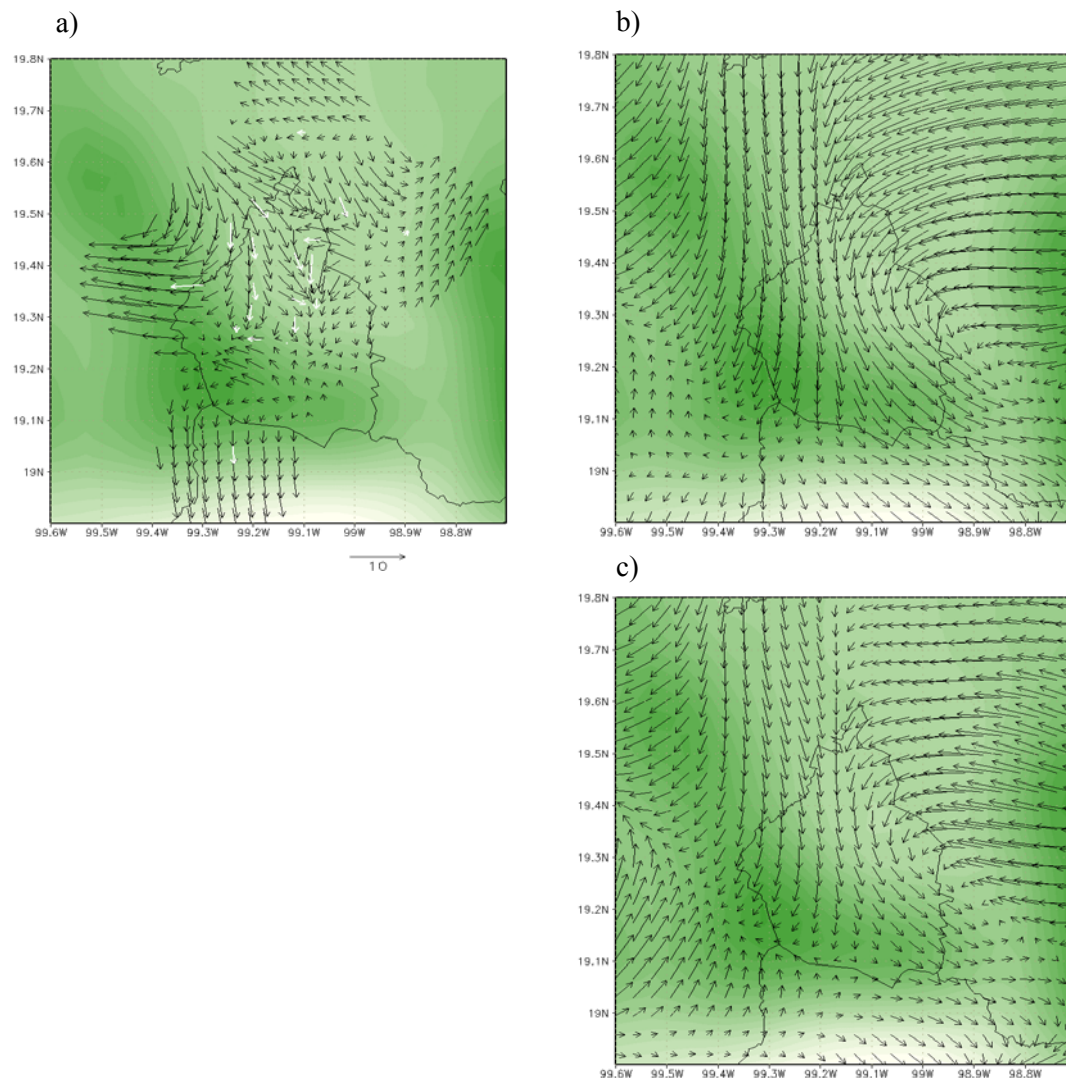


Fig. 6. Comparación de campos de viento reproducidos para el 22 de febrero a las 18 horas: a) análisis objetivo, b) modelo MM5-pronóstico a 24 horas, y c) asimilación de datos

Los vientos como se puede ver en la figura 6c presentan un dominio del norte, y ventilan la mayor parte del Valle de México creando flujos de viento hacia la región de Chalco, pasando las montañas los vientos presentan un evidente cambio de dirección que refleja los efectos orográficos aún en eventos de *Norte*.

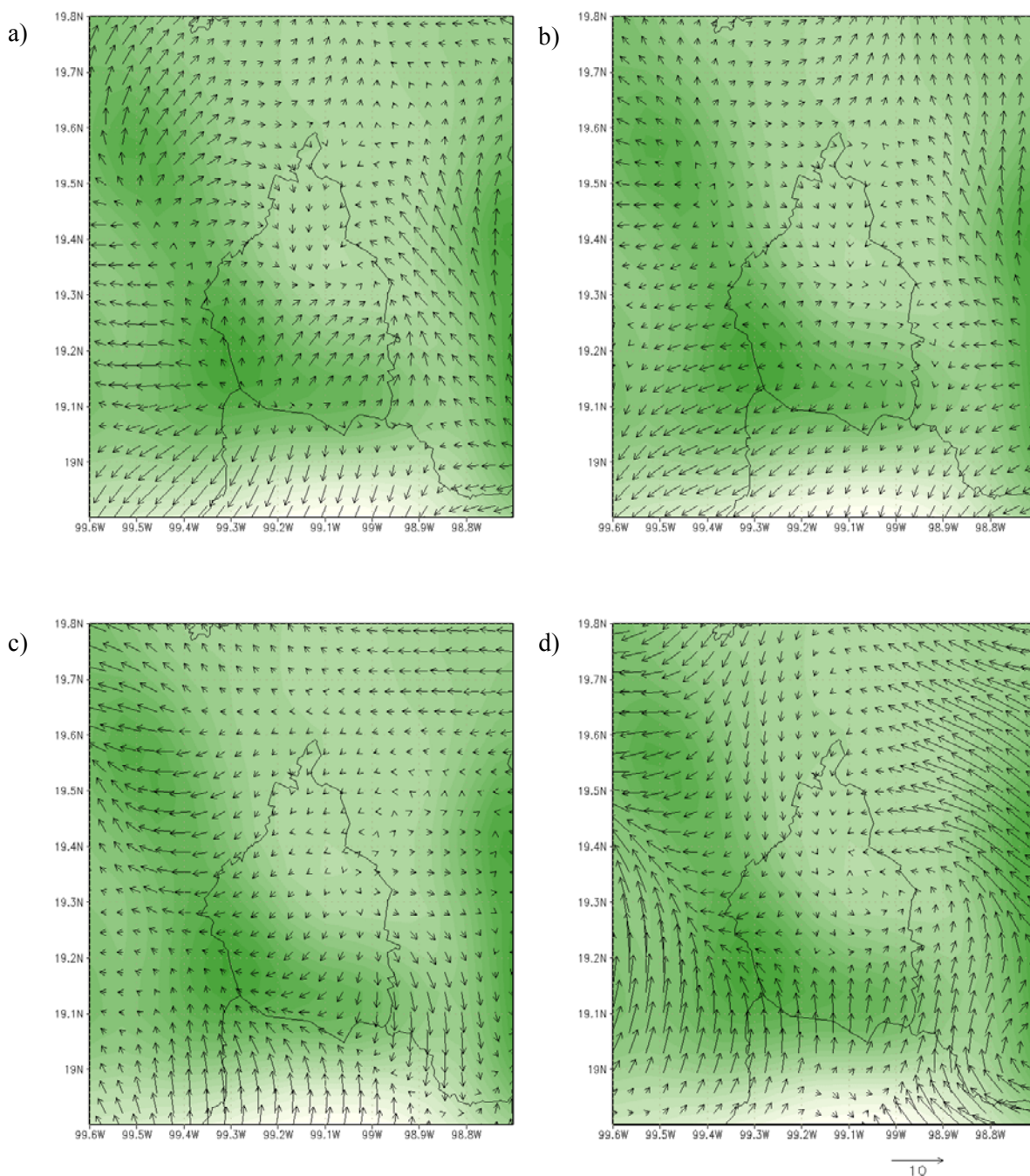


Fig. 7. Medias horarias de campos de viento en superficie (m/s) asimilados para febrero 2002:
a) 00 horas, b) 06 horas, c) 12 horas, y d) 18 horas

Las medias horarias de febrero realizadas con los datos asimilados (Fig. 7) muestran claramente los efectos de montaña para los horarios de 00 y 06 horas. Es evidente en ambas figuras que los vientos se introducen desde las regiones montañosas hacia el interior del valle, indicando un dominio en las circulaciones locales que forman la brisa de montaña en estos horarios nocturnos. Este mismo tipo de circulación muestra a su vez a unos kilómetros del territorio central del Distrito Federal un vórtice ciclónico sobre un área de convergencia; este efecto es más evidente en el gráfico de 00 horas (Fig. 7a), cuando las intensidades de los vientos son más relevantes.

Al medio día el viento se torna débil hacia el centro del valle, o incluso se puede apreciar que las componentes toman direcciones del centro del valle hacia las montañas, dando lugar a los “Vientos de Valle”. También en este horario se puede ver claramente la formación de una corriente de vientos sobre el Valle de Chalco, situado entre la Sierra de las Cruces y las faldas del volcán Popocatepetl.

Para el mapa de 18 horas (Fig. 7d), las direcciones de los vientos rotan en muchos casos alrededor de 180 grados, y la corriente de viento sobre Chalco cambia a una componente dominante del sur mientras que 6 horas antes se tornaba del norte. Los vientos en este horario se vuelven una brisa de montaña que puede ser generada por la isla de calor y por la componente ascendente que esta forma, lo que da lugar a una región del valle que se caracteriza por la formación de convergencia que posiblemente es producida por la isla de calor y los efectos de montaña.

La asimilación de datos resulta ser de gran utilidad para llevar a cabo diagnósticos de campos de viento, ya que en el caso de las asimilaciones de datos, se muestran mejorías significativas en la construcción de campos de viento sobre el área del Valle de México y sus alrededores. Además, se logra identificar las principales características que modulan las circulaciones atmosféricas locales como lo son los efectos causados por la topografía y en su caso los eventos de sistemas sinópticos.

5. CONCLUSIONES

Las asimilaciones de datos con el modelo MM5 para el caso del Valle de México, han mostrado ser una importante herramienta en la estimación de campos de viento para diagnóstico, ya que el modelo involucra parámetros como la orografía, usos de suelo y los efectos que estos conllevan como los efectos de fricción. De esta forma los resultados que se obtienen muestran los patrones del viento en escala local con una alta resolución, por lo que los resultados de esta herramienta pueden ser de gran utilidad para utilizarse como condiciones iniciales y de frontera en modelos de dispersión, así como para proponer soluciones de calidad del aire al analizar el transporte de las concentraciones de contaminantes sobre la ciudad de México.

La importancia de los experimentos numéricos en la atmósfera, radica en que a partir de un modelo atmosférico se pueden obtener y estudiar diversos casos de un mismo evento, o patrón, de los fenómenos atmosféricos. Para el caso de este trabajo es importante contar con un estudio del porcentaje de error relativo que determine y califique cuantitativamente la representación de los campos de viento hechas con los datos asimilados en el modelo MM5.

Como parte de una secuencia de dichos experimentos numéricos, una forma factible de conocer la dinámica de los procesos en que influye la urbanización, es realizando pruebas dentro del MM5

con simulaciones realizadas con cambios en el uso del suelo dentro de Valle de México, realizando incrementos de área urbana y mostrando la relevancia que estos procesos involucrarían.

6. AGRADECIMIENTOS

Hacemos un sincero agradecimiento al Dr. Adalberto Tejeda Martínez por los valiosos comentarios a este trabajo.

7. REFERENCIAS

- ANTHES, R.A. and WARNER, T.T. (1978). "Development of hydrodynamic models suitable for air pollution and other mesometeorological studies". *Mon. Wea. Rev.*, 106, pp.1045-1078.
- BENJAMIN, S.G. (1983). *Some effects of surface heating and topography on the regional severe storm environment*. Ph.D. Thesis, Department of Meteorology, The Pennsylvania State University, 265 pp.
- BURK, S.D. and THOMPSON, W.T. (1989). "A vertically nested regional numerical prediction model with second-order closure physics". *Mon. Wea. Rev.*, 117, pp.2305-2324.
- CHEN, F. and DUDHIA, J. (2001). "Coupling an advanced land-surface/hydrology model with the Penn State/NCAR MM5 modeling system. Part I: Model implementation and sensitivity". *Mon. Wea. Rev.*, 129, pp.569-585.
- DUDHIA, J. (1989). "Numerical study of convection observed during winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model". *J. Atmos. Sci.*, 46, pp.3077-3107.
- DUDHIA, J. (1999). *PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and User's Guide: MM5 modeling System Version 2*. NCEP tutorial note NCEP/NCAR, USA, 264 pp.
- HALTINER, G.J. and WILLIAMS, R.T. (1980). *Numerical prediction and dynamic meteorology*. Wiley, New York, USA, 477 pp.
- KAIN, J.S. (2002). The Kain-Fritsch convective parameterization: An update. <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/mm5-papers.html>, to be submitted to *J. Appl. Meteor.*
- KILCOYNE, H. (1997). Past & current methods of data assimilation at leading weather & analysis centers. November 7.
- MAGAÑA, V. y PÉREZ, J.L. (1998). "Usos de un modelo de mesoescala en el estudio de la dinámica atmosférica regional de México". *Geo UNAM*, 5 (1), pp.33-39.